

# 肠道菌群:蜜蜂的“防身教练”

■本报记者 李晨

“很多人以为蜜蜂蜇刺只是本能,但我们的研究发现,工蜂其实是‘记忆高手’——它们能在肠道菌群协助下记住危险信号,甚至传递预警信息。”中国农业科学院蜜蜂研究所(以下简称蜜蜂所)研究员刘永军告诉《中国科学报》,这项新研究揭开了社会性昆虫认知奥秘的一角。

近日,蜜蜂所资源昆虫保护创新团队与合作者在《自然-通讯》发表论文,首次揭示了肠道菌群通过调节多巴胺水平,影响西方蜜蜂工蜂在防御过程中形成的厌恶性学习与记忆能力。这不仅为理解蜜蜂社会行为提供了新视角,也为蜜蜂健康养殖和环境保护提供了潜在应用路径。

## 守卫蜂的“舍身”本能与“学习”能力

在蜂巢入口,守卫蜂时刻警惕着胡蜂、蜘蛛等天敌,一旦发现威胁,就会伸出螯针蜇刺入侵者,同时释放乙酸异戊酯等报警信息素来召唤同伴。这种伸针反应是蜜蜂的终极防御手段——因为螯针连接内脏,它们在蜇刺后便会死亡。伸针反应的“自我牺牲”行为能有效保护蜂群,是蜜蜂社会性的重要体现。

“这种‘自我牺牲’看似本能,实则充满智慧。”论文共同第一作者、蜜蜂所博士生封王江解释道。防御行为不仅是一种本能,更与学习记忆密切相关。在自然界中,工蜂,尤其是巢门守卫蜂会通过负面经历形成厌恶性学习记忆。

通过巴甫洛夫条件反射实验,该团队建立了行为范式:利用电击模拟威胁,可以诱发工蜂的伸针反应,随后训练工蜂将中性气味与电击配对。若工蜂学会将气味视为危险信号,仅气味刺激就能触发伸针反应,则反映了它们的厌恶性学习记忆能力。这种能力帮助蜜蜂灵活调整防御行为,平衡个体与群体的生存利益。

“就像人类被热水烫过后会避开热水壶,蜜蜂被天敌攻击后也能记住危险刺激的气味,未来主动规避。”封王江说。然而,蜜蜂这种条件反射式的厌恶性记忆能力是如何形成的?

“这项研究融合了科学好奇与现实关切。”刘永军说。一方面,蜜蜂是社会行为研究



蜜蜂伸针反应。

殖和药理学干预等多层次技术展开协同攻关。

首先,必须排除原有菌群的干扰。无菌蜜蜂的培育就成了实验设计的核心环节,它在实验中扮演着“空白画布”的角色。这种特殊的蜜蜂群体为理解微生物与宿主行为关系提供了至关重要的对照组。

该团队通过行为学实验比较了正常蜜蜂与无菌蜜蜂的行为差异。结果出人意料,两组蜜蜂对电击的本能伸针反应无差别,但在气味-电击配对训练中,无菌蜜蜂的厌恶性学习记忆得分骤降30%。

“这说明肠道菌群不影响防御本能,但专门调控学习可塑性。”论文共同通讯作者、中国科学院生态环境研究中心研究员葛源分析道。进一步代谢组学检测发现,无菌蜜蜂的肠道、血淋巴和大脑多巴胺水平普遍偏低。多巴胺作为古老神经递质,在蜜蜂中负责协调学习、记忆与奖赏行为,与人类系统高

经典模型,其防御行为存在一个有趣的现象:工蜂在蜇刺时表现出“舍身赴死”的刚性本能,却能通过学习记忆灵活调整攻击策略。这种可塑性背后的神经机制尚未明晰。

另一方面,近年来,研究发现肠道菌群可通

过“肠-脑轴”影响宿主行为,如小鼠的焦虑、人

类的学习能力,但昆虫的相关证据匮乏。

刘永军注意到,遭遇农药或寄生虫的蜂群同时出现菌群失调和行为异常,这或许能成为研究蜜蜂厌恶性记忆能力的突破口。“我们好奇蜜蜂的肠道菌群是否也会调控防御性学习记忆,这项研究既能揭示社会行为演化机制,又为蜂群健康管理提供了新思路。”

“蜜蜂肠道菌群仅有约10种核心菌,结构简单且易于操纵,是理想模型。”封王江比喻道,“就像用乐高积木拼装机器,我们能清晰追踪单一菌株如何通过代谢物远程调控大脑。”该团队从蜜蜂肠道中分离出屎肠球菌和粪肠球菌,这两种肠道非核心菌能否成为蜜蜂的“记忆开关”?一场跨学科合作就此展开。

研究历时3年,其间团队攻克了多项难关:用3D打印技术研制伸针反应检测设备,实现精准的行为记录;建立无菌蜜蜂模型,在超净台中手工移植蜂蛹;检测单脑纳克级多巴胺,这堪比“大海捞针”。

“多机构协作是关键。”刘永军强调,“当发现菌群特异性调控蜜蜂的学习记忆时,团队成员倍感振奋——我们找到了微生物影响社会行为的新证据。”

## 为蜂群保护提供“益生菌方案”

这项成果将肠道菌群提升为调控蜜蜂社会行为的关键因素,为神经科学和生态学研究提供了新视角。在理论层面,它证实了“微生物-肠-脑轴”在昆虫中的保守性:即便是非核心肠道菌,也能通过代谢物(如多巴胺)远程调控大脑高级功能。“这挑战了传统上仅关注遗传或环境因素的行為理论,揭示了微生物与宿主共进化的深层联系。”刘永军说。

“这项研究有望解决养蜂业痛点。”刘永军说,蜂群崩溃综合征常伴随工蜂导航能力下降、防御迟钝等问题。据推测,菌群失调或是诱因之一。

首先,通过饲喂肠球菌益生菌,增强蜜蜂学习记忆能力,从而提升对病虫害的识别能力,更高效地躲避胡蜂等天敌。其次,不同职能工蜂的肠道菌群差异可用于行为调控,优化蜂群结构。未来可开发菌剂以增强蜂群抗逆性,替代部分农药的使用。

此外,蜜蜂行为与菌群状态可作为环境“晴雨表”。葛源指出,农药污染会导致菌群紊乱和学习能力下降,监测蜜蜂认知水平能为生态健康提供早期预警。

蜜蜂的“肠-脑轴”机制也为人类脑疾病研究提供了新线索。例如,帕金森病患者存在多巴胺神经元退化,而该研究显示肠球菌能提升脑内多巴胺,进而改善宿主认知能力。“蜜蜂模型简单高效,适合大规模筛选益生菌。”刘永军说,“未来可能从中发现改善神经退行性疾病的微生物疗法。”

目前,团队正深入解析菌群代谢物如何影响宿主的神经可塑性,并计划在熊蜂、果蝇、小鼠等物种中验证机制的普适性。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41467-025-67586-8>

## 工信部人形机器人与具身智能标准化技术委员会成立

本报讯(记者高雅丽)12月26日,工业和信息化部人形机器人与具身智能标准化技术委员会(以下简称标委会)成立大会在京举行。标委会主要承担人形机器人与具身智能基础共性、关键技术、部组件、整机与系统、应用、安全等领域行业标准制修订工作,秘书处设在中国电子学会。

工信部副部长柯吉欣在致辞中表示,当前成立标委会,系统推进人形机器人与具身智能标准化工作恰逢其时,要体

随后,标委会召开了第一届第一次全体委员会议。

## 国家一级保护植物猪血木野外回归活动举行

本报讯(记者朱汉斌)近日,国家一级保护植物猪血木野外回归活动在广西平南县举行。活动由中国科学院华南植物园、广西壮族自治区林业科学研究院主办。

猪血木是我国特有单种属濒危植物,其木材结构细致、不易开裂,具有极高的生

态价值、经济价值及文化价值。据介绍,2024年4月,科研人员在猪血木原生地广东省阳春市三甲镇进行了加强型回归。此次活动回归的200株猪血木中,有80余株种植在大五顶林场,属于灭绝地的重建型回归。

中国电子学会理事长徐晓兰在致辞中表示,中国电子学会作为标委会秘书处单位,将构建“敏捷迭代”标准供给机制,强化“全链条”协同生态,深化“应用为先”贯标机制,推动建立“主导型”标准体系。

随后,标委会召开了第一届第一次全体委员会议。



12月28日,由联合飞机集团自主研制的全球首款6吨级无人倾转旋翼飞翼器“铜影R6000”,在四川省德阳市完成首次飞行,标志着我国在倾转旋翼技术上实现了重要突破。

“铜影R6000”通过倾转旋翼设计技术,实现旋翼姿态在垂直起降与高速平飞模式之间的无缝、安全平稳切换,其巡航速度达到550公里/小时,最大航程长达4000公里,实用升限7620米,最大商载2000公斤。图片来源:视觉中国

加强高质量标准供给、构建协同发展生态、前瞻布局国际标准,提升产业国际竞争力。

加强高质量标准供给、构建协同发展生态、前瞻布局国际标准,提升产业国际竞争力。